

Importance de l'évaluation de la sûreté et de la maîtrise des risques

Une méthode unifiée et systématique d'analyse peut aider à maîtriser les risques que présentent les installations industrielles et à prévenir les accidents

par Antonio Novegno et Ephraem Asculai

Les techniques modernes ont conduit le monde entier à se préoccuper chaque jour davantage de leurs effets sur l'environnement et des graves accidents auxquels elles peuvent donner lieu. Si, dans tous les pays, l'industrialisation a permis d'augmenter de façon spectaculaire l'espérance de vie, elle n'en a pas moins eu des effets néfastes sur le milieu ambiant et, par certains côtés, elle constitue un danger pour la société.

A l'aube de la Révolution industrielle on ne se souciait guère des effets qui pourraient en résulter pour les individus, comme pour le milieu, et notamment pour la santé et le bien-être des travailleurs et du grand public. Ce n'est que tout récemment, surtout dans la seconde moitié du XX^e siècle, qu'on a commencé vraiment à s'occuper de ces problèmes.

MM. Novegno et Asculai font partie de la Section de la fiabilité et de l'évaluation des risques, Division de la sûreté nucléaire de l'AIEA.

Tout au long de son histoire, l'humanité a dû accepter les catastrophes naturelles comme faisant partie de l'existence. Ces catastrophes font généralement de nombreuses victimes mais d'autres accidents, moins graves, peuvent également entraîner des pertes économiques, des mutilations, voire des morts. Or, la somme de tous ces accidents est la cause principale des morts accidentelles. Il n'en reste pas moins qu'il convient de s'attacher davantage à prévenir les accidents majeurs dont les conséquences sont encore plus lourdes (*voir le tableau*).

Les effets les plus graves des techniques modernes sur la santé sont dus à l'exposition prolongée et répétée aux polluants rejetés par les complexes industriels, et notamment les centrales électriques.

A côté de ces effets assez évidents, on voit aujourd'hui tout un ensemble de nouveaux phénomènes

Quelques accidents industriels aux conséquences graves, 1976-1986

Accident	Conséquences
<ul style="list-style-type: none">● <i>Seveso (Italie), 10 juillet 1976</i> Dans une usine de produits chimiques, une réaction provoque l'explosion de 0,5 à 10 kg de dioxine très toxique qui se disperse sur 18 km².	Plus de 1000 personnes doivent être évacuées. Aucune mort à déplorer. La dioxine a mutilé de nombreux enfants qui ont souffert d'éruptions cutanées (acné de chlore). Autres effets: avortements spontanés et contamination du sol.
<ul style="list-style-type: none">● <i>San Carlos de la Rapita (Espagne), 11 juillet 1978</i> Un camion de 38 tonnes chargé de 45 m³ de propylène (gaz inflammable) s'écrase contre le mur d'un terrain de camping et explose, produisant des flammes de 30 m de haut.	215 morts.
<ul style="list-style-type: none">● <i>Cubatão (Brésil), 25 février 1984</i> Un oléoduc est endommagé, l'essence fuit et explose, produisant une énorme boule de feu.	Au moins 500 morts.
<ul style="list-style-type: none">● <i>Mexico (Mexique), 19 novembre 1984</i> Des conteneurs de gaz liquéfié, entreposés à San Juan Ixhuatpec, sont l'origine d'une gigantesque explosion.	452 morts, 4248 blessés. Quelque 1000 personnes portées disparues et probablement mortes.
<ul style="list-style-type: none">● <i>Bhopal (Inde), 17 décembre 1984</i> Un gaz toxique (méthylisocyanure) s'échappe d'une usine pétrochimique fabriquant un insecticide. Le gaz se répand sur 40 km².	2500 personnes mortes par empoisonnement. Environ autant dans un état critique. Quelque 150 000 personnes durent être hospitalisées. Effets à long terme tels que cécité, troubles mentaux irréversibles, lésions hépatiques et néphrétiques, malformations embryonnaires.
<ul style="list-style-type: none">● <i>Tchernobyl (URSS), 26 avril 1986</i> Une excursion de puissance survient dans la quatrième tranche de la centrale nucléaire de Tchernobyl, entraînant une explosion de vapeur, la destruction du réacteur et une forte contamination de l'environnement par des radionucléides émis par le combustible du réacteur.	31 morts, 203 personnes hospitalisées pour irradiation aiguë, 135 000 personnes évacuées. Equivalent de dose engagé effectif collectif maximal estimé à $2,9 \times 10^7$ rems-hommes pour la partie européenne de l'URSS.

Note: Tableau établi d'après «How quantifiable are catastrophic risks» de S. Chakraborty, *Risikountersuchungen als Entscheidungsinstrument* (1985).

Etudes comparatives des risques inhérents à la production d'énergie

Les effets que les différentes formes de production d'énergie peuvent avoir sur la santé et sur l'environnement sont, depuis une dizaine d'années, au centre même du débat public sur l'énergie. C'est pourquoi il est utile de faire des études comparatives tant des risques que des effets imputables aux centrales nucléo-électriques, thermiques (charbon ou mazout) et hydro-électriques, pour les situer dans une juste perspective.

Ces études visent essentiellement à donner aux planificateurs les connaissances scientifiques indispensables sur les nombreux facteurs qui influent sur le choix des systèmes énergétiques, tant à l'échelon national qu'à l'échelon international.

Les premières études se sont d'abord intéressées à certains aspects particuliers

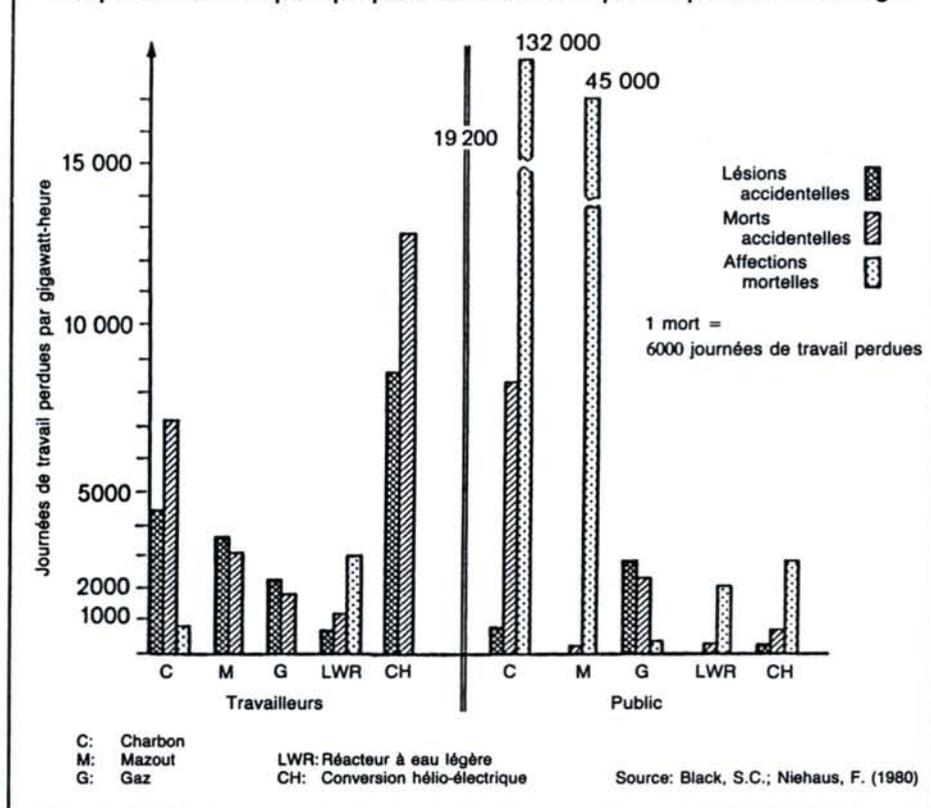
des dangers que présente la production d'énergie et ensuite au cadre conceptuel, aux méthodes à employer ainsi qu'à la collecte des données nécessaires. Plus récemment, des problèmes bien précis, tels que les risques nucléaires, les rejets d'anhydride sulfureux, les pluies acides, la radioactivité du charbon et les rayonnements de faible intensité ont retenu l'attention. Enfin on s'est intéressé à établir des comparaisons quantitatives entre les conséquences durables que certains accidents, heureusement rares, pouvaient avoir sur la santé et sur l'environnement.

On s'est beaucoup appliqué à établir des modèles simulant la dispersion à grande distance des polluants atmosphériques et leur concentration par les chaînes alimentaires mais, faute d'études épidémiologiques poussées, il n'a pas été possible de déterminer les rapports dose-effet qui permettraient de mesurer pleinement tous les risques que ces phénomènes peuvent présenter pour la santé. Certains des problèmes que pose la comparaison des risques restent donc à résoudre, en raison surtout de l'insuffisance des données, de la complexité des études comparées concernant la santé et l'environnement, des incertitudes qui entachent les données et de l'insuffisance de connaissances concernant les méthodes d'exploitation de ces dernières.

Les conclusions à tirer de comparaisons aussi générales étant très limitées, les études plus récentes se sont bornées à comparer les techniques de production d'énergie (voir la figure).

Il n'en reste pas moins que, malgré les incertitudes qu'elles comportent, les conclusions qu'on en a pu tirer

Comparaison des risques que présentent les techniques de production d'énergie



inquiétants qui s'étendent à toute la planète. Citons les pluies acides qui affectent les forêts et l'agriculture, les oxydes d'azote (NO_x) qui endommagent gravement divers matériaux, les concentrations de fluorohydrocarbures et de gaz carbonique dans l'atmosphère qui risquent d'avoir des effets pernicieux et durables sur le climat et compromettent les conditions de vie des générations à venir.

De fait, tous ces problèmes, qu'ils intéressent l'économie, la société ou l'environnement, sont liés à la sûreté des techniques et cela est encore plus vrai pour les émissions accidentelles qui sont généralement imputables à une mauvaise conception ou à une défaillance des dispositifs de sûreté.

Les conséquences pour l'environnement, qu'elles soient imputables à l'exploitation courante ou à des émissions accidentelles, ont entre elles un lien de réciprocity. Prévenir un type de danger peut entraîner d'autres. Par exemple, vouloir mieux protéger le milieu risque de mettre en danger les personnes qui sont chargées d'installer et d'entretenir les matériels supplémentaires que cela implique.

Pour maîtriser ces risques, il faut donc envisager le problème globalement et tenir compte de toutes les causes et de tous leurs effets possibles, et ceci non seulement pour une installation industrielle ou une entreprise donnée, mais encore pour des complexes industriels et des entreprises exploitées à l'échelon régional, quand, situées à proximité les unes des autres, elles risquent d'interférer entre elles et de compromettre le milieu où elles sont implantées.

restent valables et permettent de classer les moyens de production d'énergie en fonction des divers risques qu'ils présentent. Bien entendu, il ne faut pas se dissimuler que le principal intérêt de ces comparaisons ne réside pas tant dans les résultats globaux auxquels elles aboutissent qu'en ce qu'elles permettent de mieux cerner les principaux éléments dangereux dans chacun des cycles de combustible considérés.

Il importe également de reconnaître qu'une comparaison quantitative des risques et de leurs conséquences en fonction des différents systèmes de production d'énergie n'a guère d'influence sur les décisions des responsables des plans nationaux. D'autres facteurs, il faut bien le dire, influent de manière complexe sur la combinaison des divers moyens de production d'énergie d'un pays. Il s'agit notamment de la demande d'énergie, des échanges internationaux, du degré de développement industriel, de la situation économique, de la balance des paiements, des approvisionnements, des investissements nécessaires, etc. C'est pourquoi il a semblé qu'une étude des risques et de leurs conséquences, et aussi de la manière de les maîtriser, pouvait jouer un grand rôle dans la planification énergétique, par exemple quand il s'agit de décider, à l'échelon national ou régional, du choix d'une technique ou d'un emplacement.

De la comparaison à la maîtrise des risques

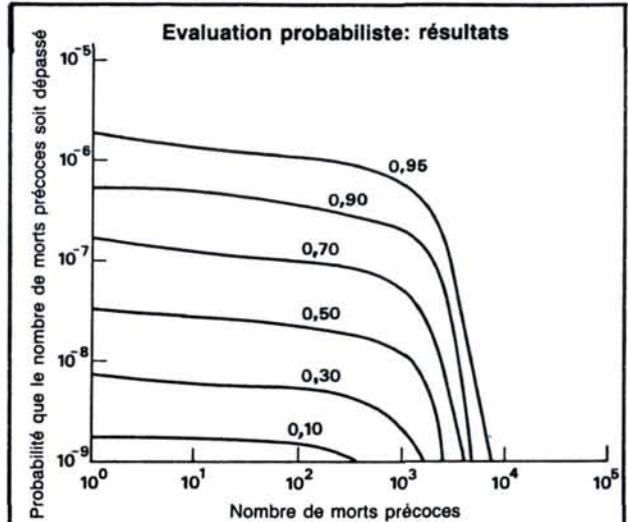
Les études comparatives des risques inhérents aux divers systèmes de production d'énergie, et les considérations évoquées précédemment, ont récemment conduit à se tourner davantage vers la maîtrise des risques.

Les comparaisons de centrales types donnent certes une juste idée des risques qui s'y attachent, mais elles ne suffisent pas à déterminer si telle installation présente toute la sûreté requise. En matière de sûreté, l'objectif d'une politique rationnelle ne saurait être de réduire (ou d'augmenter) tous les risques jusqu'au même niveau, que se soit pour les individus ou pour la société en général. Il semble plus raisonnable de continuer à réduire un risque, même faible, si l'on peut le faire facilement, ou de laisser un risque élevé — s'il n'est pas hors de proportions avec d'autres risques — à son niveau, s'il s'avère trop difficile ou trop coûteux de l'abaisser. Pour résoudre ce problème de manière systématique, on a recours à des analyses de rentabilité (*les figures de la page 36 donnent des exemples des résultats obtenus*).

L'AIEA encourage l'emploi de ces méthodes et a inauguré en 1983 un programme de recherche coordonnée sur la rentabilité comparée des moyens de réduire les risques des différentes options énergétiques. Il visait avant tout à coordonner, au sein des Etats Membres, un certain nombre de recherches menées à l'échelon national sur l'évaluation des risques, qui serviront d'études de cas auxquelles on appliquera le critère de rentabilité.

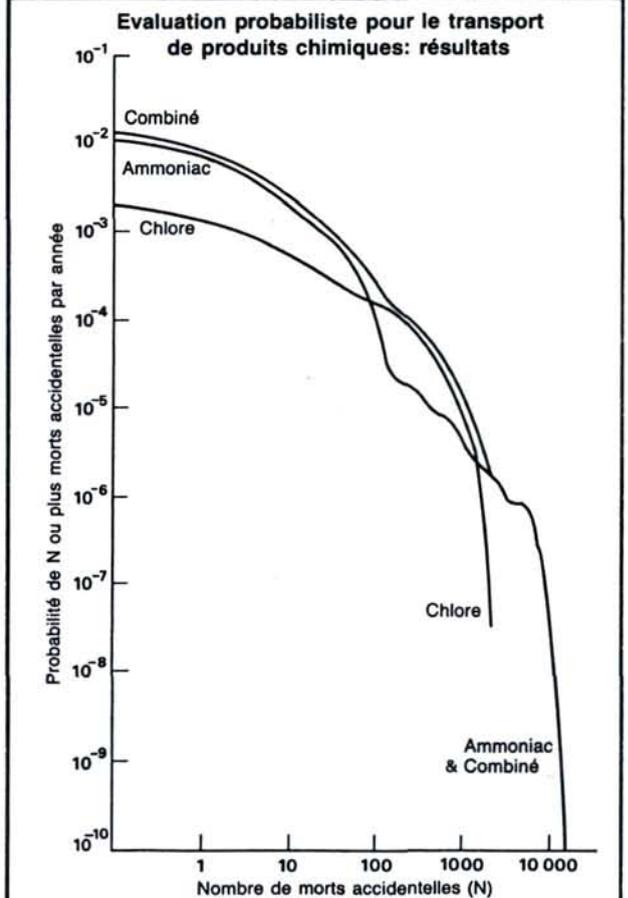
Quinze Etats Membres collaborent avec l'Agence à cette fin.* Jusqu'ici, 18 études de cas ont été menées à bien à l'aide de la méthode arrêtée lors de la première réunion du programme de recherche coordonnée. Ces

* On peut se procurer le rapport de la deuxième réunion de coordination de la recherche auprès des auteurs; le rapport final devrait paraître en 1988.



Source: Fitzpatrick, R.; Arrieta, T.; Teichmann, T.; Davis, P., *Aperçus de l'évaluation probabiliste des risques*, NUREG/CR-4405 (1985).

Les résultats représentent la probabilité qu'un certain effet soit dépassé (ici: nombre de morts précoces) en fonction de l'effet pour une année d'exploitation du réacteur. La figure donne également des estimations des incertitudes. Par exemple, la courbe de 0,95 indique que l'on peut avoir confiance à 95% que les résultats réels se situent dans les limites de la courbe.



Source: D'après Seman, M.A., «Expérience internationale de l'évaluation des risques imputables à la production de pétrole et de gaz et à la fabrication de produits chimiques», Groupe de travail AIEA/PNU/OMS, 13-17 octobre 1986, Paris (France).

L'évaluation probabiliste de la sûreté ne se limite pas à l'industrie nucléaire. On voit ici les résultats d'une évaluation probabiliste pour le transport du chlore et de l'ammoniac calculés d'après un jeu d'hypothèses concernant les débits de fuite, la dispersion atmosphérique et les effets de ces composés sur l'homme.

études traitent essentiellement des différentes installations et opérations qui interviennent dans le cycle du combustible nucléaire (mines d'uranium, centrales, transport des matières radioactives, stockage définitif des déchets). Dix autres études de cas, actuellement en cours, seront achevées avant l'expiration du programme.

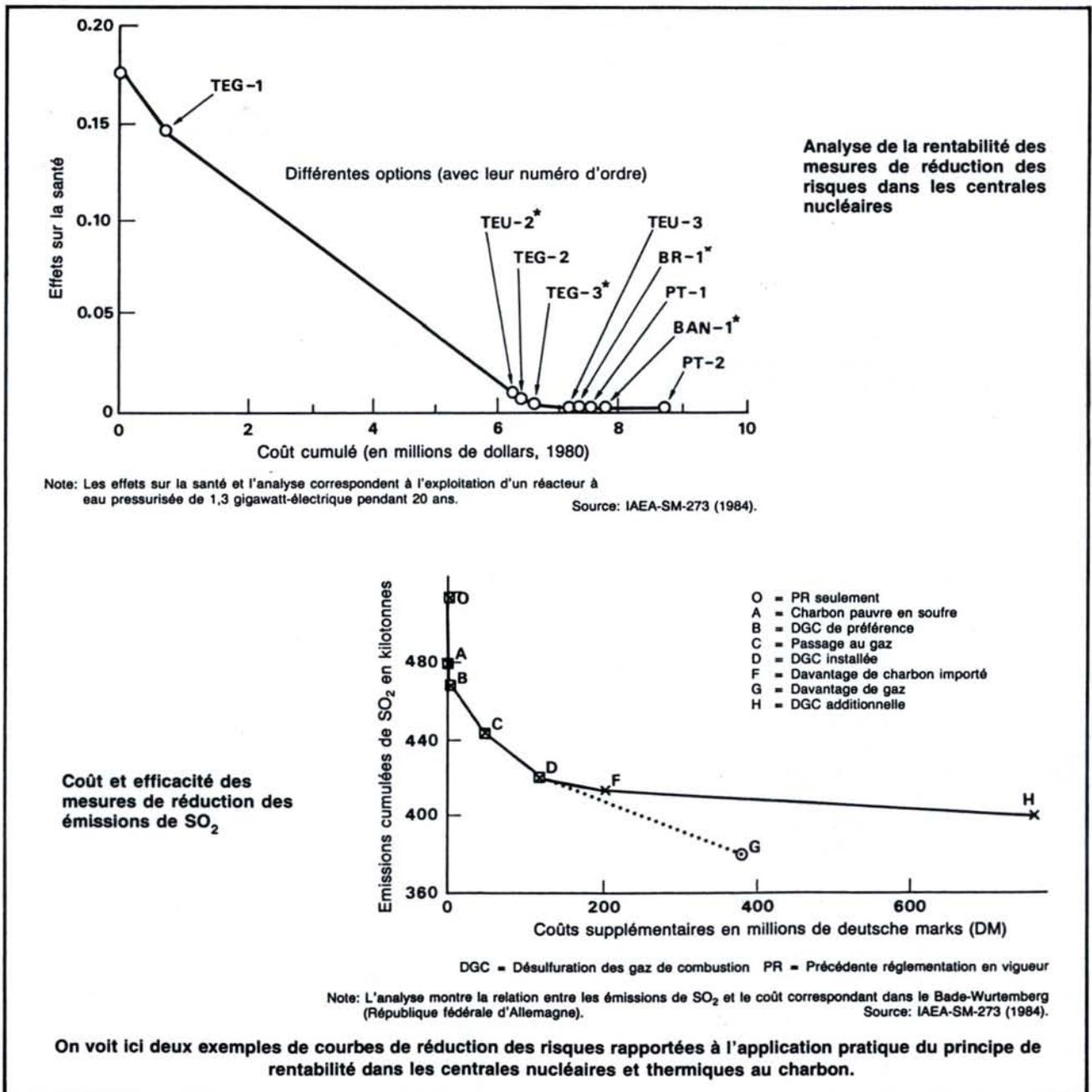
Toutes ces études ont montré que l'analyse de la rentabilité des moyens de réduire les risques permet de décider, en connaissance de cause, de la meilleure répartition possible des ressources à affecter à la protection et à la sûreté des grandes installations industrielles.

Sûreté et maîtrise des accidents graves

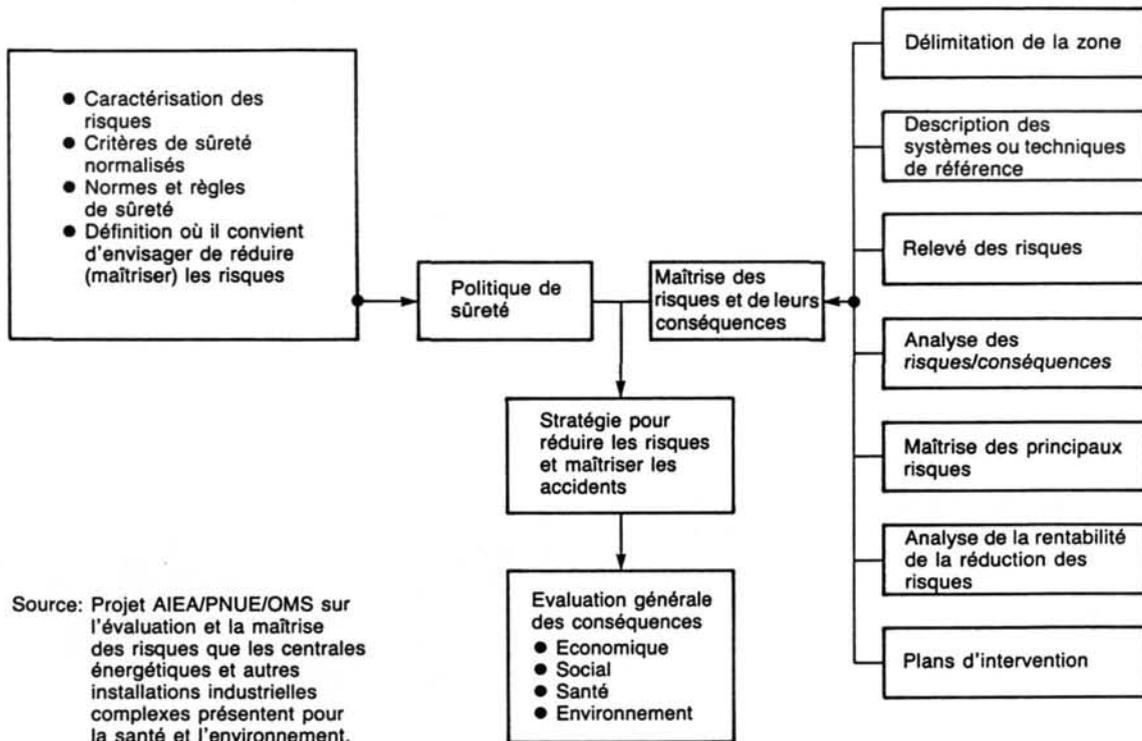
C'est peut-être dans le domaine de l'énergie nucléaire que l'on trouve le meilleur exemple d'un système complet d'évaluation et de maîtrise des risques.

Pour chaque centrale nucléaire on procède au préalable à une étude complète de ses incidences sur l'environnement. Une partie porte sur la sûreté d'exploitation de la centrale avec évaluation des dangers professionnels qu'elle présente pour le personnel d'exploitation. Dans une autre partie, on calcule les émissions normales de radioactivité dans la nature, la radioexposition à laquelle sera soumise la population et on évalue les conséquences sur l'environnement des rejets accidentels de haute activité.

Il y a deux manières d'aborder le calcul des conséquences qu'un accident survenant dans une centrale nucléaire pourrait avoir sur l'environnement. La première, consacrée par l'usage, est dite déterministe. Elle prend pour hypothèse de départ un accident de référence bien défini, dont elle calcule les conséquences pour des conditions atmosphériques courantes que l'on



Exemple de méthode globale d'évaluation et de maîtrise des risques dans les régions fortement industrialisées



compare aux niveaux admissibles d'exposition dans une situation d'urgence.

L'autre, plus récente, est dite évaluation probabiliste de la sûreté. On ne retient aucun scénario bien défini d'accident mais plutôt un ensemble de scénarios, avec estimation de la probabilité qu'ils ont de se produire, et l'on calcule alors les conséquences pour l'environnement exprimées notamment en mortalité et morbidité effectives ou latentes, et en pertes économiques, compte tenu des conditions météorologiques possibles, de la répartition des populations et de la vocation des terres. Les résultats ainsi obtenus sont présentés sous forme de probabilités de l'événement et de ses conséquences. La méthode probabiliste permet en outre d'estimer et de représenter les marges d'incertitude de l'analyse. Son emploi ne se limite pas à l'industrie nucléaire (voir les graphiques, page 35).

Il est manifeste qu'une telle méthode présente un intérêt particulier même si l'on ne l'applique pas systématiquement. Elle permet de mieux comprendre le comportement des centrales dans des circonstances anormales, l'interaction homme-machine, ainsi que l'importance relative des fonctions, systèmes et composants de sûreté. C'est aussi un nouveau moyen de formation qui se prête à de multiples fins, et notamment à la mise au point de systèmes automatisés d'aide aux opérateurs ou de scénarios pour entraînement sur simulateur. De plus, outre qu'elle permet d'avoir une meilleure idée de ces aspects qualitatifs, la méthode probabiliste fournit également des estimations quantitatives.

Elle ne saurait certes suppléer au manque de connaissances, mais elle peut aider à repérer les lacunes de l'information. Bien sûr, il faut faire tout l'usage possible de ces résultats quantitatifs. C'est pourquoi il convient

d'établir un ensemble de critères probabilistes de sûreté en fonction desquels on puisse évaluer les résultats et maîtriser les risques.

Vers une méthode régionale unifiée

Les récentes catastrophes industrielles de Bhopal, de Tchernobyl, et tout dernièrement de l'usine chimique de Bâle, en Suisse, ont confirmé de manière éclatante la nécessité de reconnaître, évaluer, prévenir et maîtriser les risques que peuvent présenter des opérations industrielles complexes, pour porter la sûreté à son maximum et réduire au minimum les effets pernicieux qu'elles pourraient avoir, tant pour le personnel qui y travaille que pour le grand public et l'environnement. Il faut donc mettre au point une méthode unifiée d'évaluation et de prévention des risques dans les régions industrielles.

Au cours des dernières années, l'attention des responsables de la sûreté de plusieurs pays et de plusieurs organisations internationales a été appelée sur la nécessité de définir et faire appliquer, en matière de sûreté, des politiques unifiées envers les risques que présentent les opérations industrielles.

La Commission des Communautés européennes a adopté plusieurs directives concernant les installations à haut risque, la pollution atmosphérique due à l'industrie et autres dangers. Il s'agit avant tout d'arrêter, dans les pays européens, une politique commune pour prévenir les risques et les conséquences graves imputables aux installations industrielles qui, pour des raisons tant techniques qu'économiques, se trouvent concentrées dans certaines régions.

Plusieurs pays industriels — République fédérale d'Allemagne, Etats-Unis, France, Pays-Bas, Suède — ont mené récemment des études d'évaluation des risques

dans les grandes zones industrielles, en sorte que les analyses quantitatives des risques, axées principalement sur leur prévention, occupent maintenant une place importante dans les décisions que les pouvoirs prennent pour protéger les populations et l'environnement.

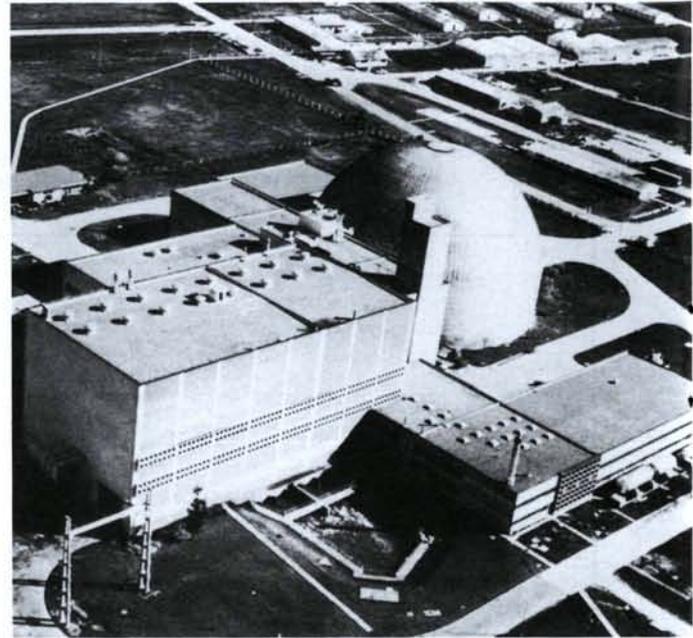
La prévention des risques à la seule échelle de l'installation considérée ne peut résoudre les problèmes complexes et multiples que les effets sur l'environnement, sur la santé, sur la société et sur l'économie posent aux responsables des décisions. Ces mesures d'évaluation et de prévention doivent être étendues aux régions où voisinent différents types d'installations industrielles présentant des risques différents, qu'il faut tout faire pour réduire. L'expérience a montré que les accidents de Tchernobyl et de Bâle ont affecté plusieurs pays. Par exemple, les plans d'intervention (partie importante de la maîtrise du risque) pour les régions industrielles doivent être suffisamment souples pour permettre de faire face à tous les accidents graves susceptibles de se produire.

Projet AIEA/PNUE/OMS

Toute politique de maîtrise des risques suppose la fixation de critères et de normes quantitatives en matière de sûreté, la mise au point de directives et de procédures, ainsi que d'un instrument rationnel, permettant de prendre les meilleures décisions possibles quant à l'emploi des fonds affectés à la sûreté. Envisager à l'échelon régional les problèmes complexes que suppose la maîtrise des risques semble donc être la solution la plus indiquée. Dans cette optique, l'AIEA s'est associée au Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) et à l'Organisation mondiale de la santé (OMS) pour lancer un projet commun d'évaluation et de maîtrise des risques que les centrales énergétiques et autres installations industrielles complexes présentent pour la santé et l'environnement (voir le graphique, page 37). La solution du problème, qui est abordé globalement, repose sur le principe d'une répartition optimale des moyens disponibles pour réduire les risques et tient compte de la complexité et de la multiplicité des objectifs devant lesquels les décideurs se trouvent placés. Cette initiative sera menée grâce à des études réalisées tant dans des pays industriels que dans des pays en développement. Elle a pour but de fixer une procédure systématique et unifiée pour la prise de décisions concernant les risques que présentent les zones fortement industrialisées.

Le projet comporte quatre grandes parties:

- Elaboration d'un manuel de prévention et de maîtrise des risques, à partir d'un certain nombre d'études de cas qui seront menées dans les Etats Membres.
- Mise en place et exploitation d'un système de collecte, d'évaluation et de diffusion de l'information concernant les méthodes et, s'il y a lieu, les effets sur la santé et sur l'environnement.
- Formation du personnel à la prévention et à la maîtrise des risques.
- Conseils sur la manière d'envisager à l'échelon national la prévention et la maîtrise du risque, et méthodes de planification concernant la production et l'utilisation de l'énergie ainsi que d'autres opérations industrielles complexes.



La centrale Atucha-I (Argentine) de 692 mégawatts électriques.

L'énergie d'origine nucléaire dans les pays en développement (au 31 décembre 1986)

	Réacteurs en exploitation		Réacteurs en construction		Réacteurs en projet	
	Nombre de tranches	Puissance totale nette (MWe)	Nombre de tranches	Puissance totale nette (MWe)	Nombre de tranches	Puissance totale nette (MWe)
Argentine	2	935	1	692	2	NC
Brésil	1	626	1	1245	1	1245
Bulgarie	4	1632	2	1906	2	1906
Chine	—	—	1	288	2	1800
Cuba	—	—	2	816	—	—
Tchécoslovaquie	7	2799	9	5508	—	—
Egypte	—	—	—	—	2	1000*
Hongrie	3	1235	1	410	2	1900
Inde	6	1154	4	880	4	880
Iraq	—	—	—	—	1	400
Iran, Rép. islam. d'	—	—	2	2400	—	—
Corée, Rép. de	7	5380	2	1800	2	1800
Jamahiriya arabe libyenne	—	—	—	—	2	816
Mexique	—	—	2	1308	—	—
Pakistan	1	125	—	—	1	900
Pologne	—	—	2	880	10	8430
Roumanie	—	—	3	1980	1	660
Taiwan, Chine	6	4918	—	—	4	4120
Thaïlande	—	—	—	—	1	900
Turquie	—	—	—	—	1	NC
Yougoslavie	1	632	—	—	1	1000

NC = Chiffre non communiqué. * Puissance d'une tranche.
Source: Système de documentation sur les réacteurs nucléaires, AIEA.